

層状構造体における弾性波の伝搬特性の解析とその 応用に関する研究

著者	西宮 康治朗
内容記述	筑波大学博士（工学）学位論文・平成23年3月25日 授与（甲第5688号）
発行年	2011
URL	http://hdl.handle.net/2241/114356

氏 名 (本籍)	にし みや こうじろう 西 宮 康治朗 (東 京 都)				
学 位 の 種 類	博 士 (工 学)				
学 位 記 番 号	博 甲 第 5688 号				
学位授与年月日	平成 23 年 3 月 25 日				
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当				
審 査 研 究 科	システム情報工学研究科				
学 位 論 文 題 目	層状構造体における弾性波の伝搬特性の解析とその応用に関する研究				
主	査	筑波大学教授	工学博士	水 谷 孝 一	
副	査	筑波大学教授	Ph. D. (工学)	堀 憲 之	
副	査	筑波大学教授	工学博士	安 信 誠 二	
副	査	筑波大学准教授	博士 (工学)	若 槻 尚 斗	
副	査	筑波大学講師	博士 (工学)	川 村 洋 平	
副	査	筑波大学助教	博士 (工学)	海老原 格	

論 文 の 内 容 の 要 旨

本論文は、層状構造体内の弾性波の伝搬特性の解析と、その工業分野への応用を試みたものである。波動の伝搬特性の制御が大きな注目を集めているが、例えば医療分野では、焦点距離を動的に可変させるためのフェーズドアレイトランスデューサなどが研究されている。これは、振動子をアレイ状に配置することで波動伝搬を制御するものである。素子が単一構造体の場合、波動の伝搬特性はほぼその弾性体の物性に依存する。そのため一つの素子で動的に波動伝搬を変化させるのは難しい。よって、フェーズドアレイトランスデューサのように、アレイ状に素子を配置することで波動伝搬の制御を試みている。しかし、これによる装置の煩雑化や価格の高騰などの課題もある。これに対し本論文では、一つの素子で波動伝搬を制御できる構造体を提案したものである。固体と液体の固液混合の層状構造体である。この構造体は固体と液体の連成振動になるため、伝搬特性を決定するパラメータの増加が期待できる。さらに液層は厚みを動的に可変出来るので、波動伝搬の制御も期待できる。着目する伝搬特性は「負の群速度」とする。負の群速度とは位相速度と群速度が互いに逆向きになる状態である。これは、現在研究されている音響フラットレンズの原理である負の屈折にも起因するものであり、負の群速度の伝搬特性を解析・制御することは重要である。本論文では、提案する層状構造体における負の群速度を解析することにより、その伝搬特性の解析と制御を試みている。また、この層状構造体をフォノンニック結晶に応用し、実際に波動伝搬の制御が可能な層状構造体フォノンニック結晶の提案をしている。各章の概略を下記に示す。

第2章では、弾性波の基礎理論から始まり、弾性薄板単体を伝搬する弾性波 (Lamb 波) の理論と、音波の光学的な可視化の原理についてまとめている。

第3章では、Lamb 波における負の群速度の解析から、層状構造体を伝搬する Lamb-type wave における負の群速度の存在条件について詳細に解析した。その結果、駆動周波数は固定したまま液層の厚みにより負の群速度を 1 km/s ほど変化させることが可能であることが分かった。また固体と液体の各材質のパラメータに依る負の群速度の存在条件を求め、提案した構造体では Lamb 波にはない特徴も存在することが分かった。

また、最も速い負の群速度を得る条件について定量的に簡単な関数で表した。解析がやや複雑になるような極端な条件下での波動伝搬の可視化を試みている。層状構造体において、途中で層が変わる場合には境界波が発生することが確認でき、くさび形弾性体内では Lamb 波から Rayleigh 波に変化する様子を可視化している。これにより、解析的に解くのが煩雑になるような境界条件下においても、可視化という手法を用いることで容易にその波動の伝搬特性を把握出来ることが確認された。

第4章では、フォノンニック結晶における負の屈折現象を可視化するとともに、層状構造体をフォノンニック結晶に応用した構造体を提案している。負の屈折を用いる集束超音波について集束位置可変な構造体と、音源が平面波でも集束できる構造体を提案している。前者の構造体については、液層の厚みにより集束する位置と音圧が変わることが確認できた。後者の構造体では、従来のフォノンニック結晶に比べて音源が平面波でも集束が可能であることが確認できた。これらの成果は、弾性波動論の基礎から医療分野、水中音響分野など、幅広い分野での発展に寄与できるものである。

審 査 の 結 果 の 要 旨

本論文は、従来の音源や集束位置が固定されてしまう音響フラットレンズにおいて、層状構造体を利用することでこれらの波動伝搬を制御できる構造体を提案したものである。固体/液体/固体から成る層状構造体では、音響フラットレンズにおいて重要な要素である負の群速度を自由に制御できることを理論的に示し、その存在条件を定量的に示した。また、フォノンニック結晶/液体/フォノンニック結晶からなる層状構造体フォノンニック結晶において、有限要素法解析により、集束位置可変な構造体および音源が平面波でも集束する構造体を提案し、その妥当性を立証した。これらの成果は、4件の査読付き雑誌論文にて報告されている。負の群速度の存在条件の定量的な評価は、幅広い視点で解析されたものであり、弾性波動論の新たな基礎理論として重要な結果を得たと言える。また、一つの素子で複数の効果が求められる現在の工業分野において、本研究の成果は、医療分野においては集束位置可変な集束超音波トランスデューサとして、また水中音響分野でも集束位置が可変であり、音源が球面波に限定されない自由度の高い音響レンズとしての応用が期待でき、複数分野の発展に貢献できるものであると考えられる。

論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。